

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2005 年 10 月 6 日 (06.10.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/093341 A1

- (51) 国際特許分類: F25B 9/00, 9/14
 (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/005221
 (22) 国際出願日: 2005 年 3 月 23 日 (23.03.2005)
 (25) 国際出願の言語: 日本語
 (26) 国際公開の言語: 日本語
 (30) 優先権データ:
 特願2004-091686 2004 年 3 月 26 日 (26.03.2004) JP
 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 学校法人同志社 (THE DOSHISHA) [JP/JP]; 〒6028580 京都府京都市上京区今出川通烏丸東入玄武町 6 0 1 番地 Kyoto (JP).
 (72) 発明者; および
 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 渡辺 好章

(WATANABE, Yoshiaki) [JP/JP]; 〒6190225 京都府相楽郡木津町木津川台 1-1 5-4 Kyoto (JP). 坂本 眞一 (SAKAMOTO, Shinichi) [JP/JP]; 〒6180001 大阪府三島郡島本町山崎 2 丁目 1 番 2-3 0 9 Osaka (JP).

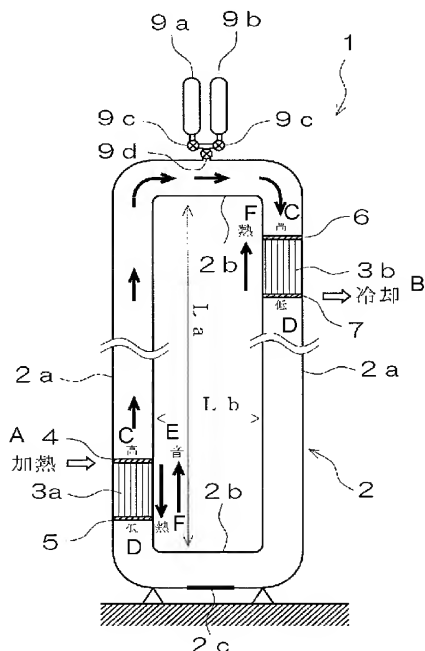
(74) 代理人: 久留 徹 (KURU, Toru); 〒6170837 京都府長岡京市久貝 3 丁目 1 の 1 4 A-2 0 1-5 Kyoto (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: THERMOACOUSTIC DEVICE

(54) 発明の名称: 熱音響装置



A HEATING
 B COOLING
 C HIGH
 D LOW
 E SOUND
 F HEAT

(57) Abstract: A thermoacoustic device enabling a reduction in time in which sound wave is generated and a satisfactory heat exchange in stacks. The device (1) comprises, in a loop tube (2), the first stack (3a) held by a first high temperature side heat exchanger (4) and a first low temperature side heat exchanger (5) and the second stack (3b) held by a second high temperature side heat exchanger (6) and a second low temperature side heat exchanger (7). A standing wave and a traveling wave are generated by heating the first high temperature side heat exchanger (4), the second low temperature side heat exchanger (7) is cooled by the standing wave and the traveling wave, or/and the standing wave and the traveling wave are generated by cooling the first low temperature side heat exchanger (5). Then, the second high temperature side heat exchanger (6) is heated by the standing wave and the traveling wave. The standing wave and the traveling wave are generated in the state of sealing, in the loop tube, helium with high sound speed, small Prandtl number, and small specific gravity, and then argon with low sound velocity, large Prandtl number, and small specific gravity is filled therein.

(57) 要約: 音波の発生までの時間を短縮化するとともに、スタック内でうまく熱交換できるようにすべく、ループ管 2 の内部に、第一高温側熱交換器 4 と第一低温側熱交換器 5 に挟まれた第一のスタック 3 a と、第二高温側熱交換器 6 と第二低温側熱交換器 7 に挟まれた第二のスタック 3 b とを設け、第一高温側熱交換器 4 を加熱することによって定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって第二低温側熱交換器 7 を冷却し、又は/及び、第一低温側熱交換器 5 を冷却することによって定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって第二高温側熱交換器 6 を加熱する熱音響装置 1 であって、ループ管内に音速が速く、プラントル数が小さく、比重も小さいヘリウムを封入した状態で定在波及び進行波を発生させ、その後、音速が遅く、プラントル数が大きく、比重も小さいアルゴンを注入する。

WO 2005/093341 A1



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

明 細 書

熱音響装置

技術分野

[0001] 本発明は、熱音響効果を利用して対象物を冷却し、若しくは、加熱しうる熱音響装置に関するものである。

背景技術

[0002] 音響効果を利用した熱交換装置の従来技術に関しては下記の特許文献1や非特許文献1などに記載されるものが存在する。

[0003] 特許文献1に記載される装置は、熱音響効果を利用して冷却を行う装置に関するものであり、ヘリウムやアルゴン、若しくはこれらの混合ガスを封入したループ管の内部に、高温側熱交換器及び低温側熱交換器に挟まれた第一のスタックと、高温側熱交換器及び低温側熱交換器に挟まれた蓄冷器とを設け、第一のスタック側の高温側熱交換器を加熱することによって生じた自励の定在波及び進行波によって蓄冷器側の低温側熱交換器を冷却するようにしたものである。

[0004] また、非特許文献1にも同様に、熱音響効果を利用した冷却装置の実験的検討が開示されている。この実験に用いられる冷却装置も、内部にヘリウムやアルゴン、若しくはこれらの混合ガスを封入したループ管と、ヒーター（高温側熱交換器）及び低温側熱交換器とに挟まれた第一のスタックと、この第一のスタックの対向する位置に設けられた第二のスタックとを設けて構成される。そして、第一のスタック側に設けられたヒーター（高温側熱交換器）を加熱するとともに、低温側熱交換器に水道水を循環させることによって第一のスタック内に温度勾配を発生させ、この温度勾配と逆方向に自励による音波を発生させる。そして、その音エネルギーをループ管を介して蓄冷器側に移送し、エネルギー保存の法則により、第二のスタック側でその音エネルギーと逆方向に熱エネルギーを移送させて、第二のスタックの他端側に設けられた温度計近傍を冷却するようにしたものである。この文献によれば、所定の条件のもと、温度計が設けられる部分で約16℃の温度低下が確認されている。

特許文献1:特開2000-88378号公報

非特許文献1:坂本眞一、村上和宏、渡辺好章 著「熱音響効果を用いた音響冷却現象の実験的検討」社団法人 電子情報通信学会 信学技報 TECHNICAL REPORT OF IEICE. US2002-118(2003-02)

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0005] ところで、このような熱音響効果を利用した装置では、一般の熱交換装置などと同様に、エネルギー変換の効率性が要求される。そして、この熱音響効果を用いた装置のエネルギー変換の効率を向上させるには、加熱から定在波及び進行波の発生までの時間を短縮化する必要があり、また、音波が発生した後においてもエネルギー変換の効率を向上させる必要がある。このため、従来装置では、ループ管の内部にプラントル数の小さいヘリウムや、プラントル数の大きいアルゴン、若しくは、これらの混合ガスを封入して定在波及び進行波の発生までの時間の短縮化と、音エネルギー及び熱エネルギーの変換効率の向上を図っている。
- [0006] しかしながら、このような従来用いられている装置のように、プラントル数の小さいヘリウムを使用すれば、音波の発生までの時間を短縮化できるようになるものの、発生した音波の音速が速くなってしまい、スタックの内壁との間でうまく熱交換を行うことができないという問題がある。また、アルゴンなどのように比較的プラントル数の大きい作動流体を使用すれば、その粘性によって音速を落とすことができるものの今度は逆に音波の発生までの時間が長くなってしまいう問題がある。一方、ヘリウムとアルゴンの混合ガスを封入した場合は、その混合割合によっては音速が速くなり過ぎてしまったり、また、逆に、音波の発生までの時間が長くなり過ぎてしまったりする問題があった。更に、混合ガスの割合を最適な状態にした場合であっても、ループ管を長時間放置することによって混合されたガスが上下に分離してしまい、均一に混合された初期の状態と同じ効果を得ることができなくなるなどの問題があった。
- [0007] そこで、本発明は上記課題に着目してなされたもので、音波の発生までの時間を短縮化できるようにするとともに、スタック内でうまく熱交換できるような熱音響装置などを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0008] 本発明は上記課題を解決するために、ループ管の内部に、第一高温側熱交換器と第一低温側熱交換器に挟まれた第一のスタックと、第二高温側熱交換器と第二低温側熱交換器に挟まれた第二のスタックとを具備してなり、前記第一高温側熱交換器を加熱することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二低温側熱交換器を冷却し、又は／及び、前記第一低温側熱交換器を冷却することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二高温側熱交換器を加熱する熱音響装置であって、ループ管の内部に第一の作動流体を封入した後、当該第一の作動流体と異なる作動流体を注入して混合する混合手段を設けるようにしたものである。
- [0009] このように構成すれば、第一の作動流体を封入しておき、例えば、音の発生直前や音が発生した後、若しくは、音が急に大きくなった後に、この第一の作動流体と異なる作動流体を注入するので、使用時においてループ管内の作動流体を均一な状態にすることができ、また、音の発生と熱の出力のバランスを考慮しながら最適な状態にガスを混合させることができるようになる。
- [0010] そして、このように作動流体を混合する場合、先にループ管に封入された音速の速い作動流体に対して、後から音速の遅い作動流体を注入する。
- [0011] このように構成すれば、迅速に音波を発生させることができるようになるとともに、音波発生後においては、熱交換の効率の良い状態に遷移させることができるようになる。
- [0012] そして、このような態様としては、例えば、比重の小さい作動流体を先に封入しておき、後から比重の大きい作動流体を注入する。
- [0013] また、別の態様としては、先にループ管に封入されたプラントル数の小さな作動流体に対して、後からプラントル数の大きい作動流体を注入する。
- [0014] このように構成すれば、一定条件下において、プラントル数の小さな作動流体（すなわち、熱拡散係数に対して動粘性係数が小さい作動流体）を用いることによって迅速に音波を発生させることができ、その後注入されたプラントル数の大きい作動流体（すなわち、動粘性係数に対して熱拡散係数の小さい作動流体）によって、熱交換の効率に最も適した状態にすることができるようになる。

- [0015] そして、このようなループ管として、地面に対して起立する複数の直線管部と、これら複数の直線管部を連結する連結管部とを具備してなるものを用い、混合手段を、当該ループ管の中央よりも上側に設けるようにする。
- [0016] このように構成すれば、相対的に重さの異なる作動流体を混合させる場合において後から重い作動流体を上方から注入すれば、ループ管内において作動流体を均一に混合させることができるようになる。
- [0017] また、このようなループ管を、地面に対して起立する複数の直線管部と、これら複数の直線管部を連結する連結管部とを設けて左右対称形状に構成し、このようなループ管に対して、混合手段を上側の連結管部の中央に設けるようにする。
- [0018] このように構成すれば、左右対称形状に構成されたループ管の上側中央から作動流体を注入するので、その注入された作動流体が均等に左右に分かれ、ループ管全体を均一に混合させることができるようになる。
- [0019] 更に、音の発生を検知する音検知手段を設け、この音検知手段によってループ管内に発生した音が検知された場合や音の状態変動が検知された場合に、作動流体の注入を開始する。
- [0020] このように構成すれば、音の発生した後や音が急に大きくなったような場合に作動流体を注入するので、音の発生後若しくは大きな音が発生した後、迅速に熱交換に効率の良い状態にすることができるようになる。
- [0021] 加えて、ループ管内の圧力を計測する圧力計測手段を設け、この圧力計測手段によって一定の圧力が計測された場合に作動流体の注入を停止する。
- [0022] このように構成すれば、常にループ管内の圧力を一定の圧力値に保つことができ、使用の都度、圧力が異なることによって熱変換の効率が変わってしまうなどといった不具合を防止することができるようになる。
- [0023] また、第二高温側熱交換器若しくは第二低温側熱交換器から出力される熱の時間的变化に基づいて作動流体の注入を停止する。
- [0024] このように構成すれば、第二高温側熱交換器から出力される熱の変化がなくなった場合であっても作動流体を注入し続けてしまうといった不具合を防止することができる。

[0025] また、作動流体として、空気よりも軽い作動流体と空気よりも重い作動流体からなる作動流体を使用する場合、ループ管の下端部分に空気よりも重い作動流体を抜くための開口部を設けるようにする。

[0026] このように構成すれば、例えば、空気よりも軽いヘリウムと空気よりも重いアルゴンなどを使用した場合、アルゴンのみを下端に設けられた開口部から抜くことができ、全ての作動流体を入れ替える必要がなくなる。

発明の効果

[0027] 本発明では、ループ管の内部に、第一高温側熱交換器と第一低温側熱交換器に挟まれた第一のスタックと、第二高温側熱交換器と第二低温側熱交換器に挟まれた第二のスタックとを具備してなり、前記第一高温側熱交換器を加熱することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二低温側熱交換器を冷却し、又は／及び、前記第一低温側熱交換器を冷却することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二高温側熱交換器を加熱する熱音響装置であって、ループ管の内部に第一の作動流体を封入した後、当該第一の作動流体と異なる作動流体を注入して混合する混合手段を設けるようにしたので、ループ管内の作動流体を均一に混合させることができ、しかも、音の発生と熱の出力の加減を見ながら最適な混合状態にすることができる。

発明を実施するための最良の形態

[0028] 以下、本発明に係る熱音響装置1の第一の実施の形態について図面を参照して説明する。

[0029] この実施の形態における熱音響装置1は、図1に示すように、全体として略長方形状に構成されたループ管2の内部に、第一高温側熱交換器4及び第一低温側熱交換器5に挟まれた第一のスタック3aと、第二高温側熱交換器6及び第二低温側熱交換器7に挟まれた第二のスタック3bとを具備してなるもので、第一のスタック3a側の第一高温側熱交換器4を加熱することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波を第二のスタック3b側へ伝搬して第二のスタック3b側に設けられた第二低温側熱交換器7を冷却させるようにしたものである。

[0030] そして、この実施の形態では、第一高温側熱交換器4の加熱開始から定在波及び進行波の発生までの時間を短縮化するとともに、発生した定在波及び進行波によるエネルギー変換の効率を上げるために、まず、ループ管2内に音速が速く、プラントル数が小さく、比重も小さい第一の作動流体を封入しておき、その後、定在波及び進行波を発生させてからこの第一の作動流体よりも音速が遅く、プラントル数が大きく、比重も大きい第二の作動流体を注入するようにしたものである。

[0031] 一般に、このプラントル数 Pr は以下のように示される。

$$P_r = \nu \text{ (動粘性係数)} / \kappa \text{ (熱拡散係数)} = C_p \mu g / \lambda$$

C_p : 定圧比熱、 μ : 粘性率、 g : 重力加速度、 λ : 熱伝導率

[0032] 従って、異なる作動流体の熱拡散係数 κ が同じであると、プラントル数の小さい作動流体の方が動粘性係数 ν は小さくなり、これにより、音波の発生までの時間が短くなり、また、発生した音波の音速も早くなる。これに対して、プラントル数の大きい作動流体は相対的に動粘性係数 ν の方が大きくなり(熱拡散係数 κ が小さくなる)、音波の発生までに時間がかかるが、プラントル数が大きければ熱変換の効率は良くなる。また、比重と音速との関係については、比重が小さければ相対的に音速は速くなる傾向がある。このため、本実施の形態では、最初にヘリウムなどのような音速が速く、プラントル数が小さく、比重も小さい作動流体をループ管2内に封入しておき、これによって定在波及び進行波を迅速に発生させた後に、アルゴンなどのような音速が遅く、プラントル数が大きく、比重も大きい作動流体を適宜注入して熱変換の効率を向上させるようにしている。以下、本実施の形態における熱音響装置1の詳細について説明する。

[0033] この熱音響装置1を構成するループ管2は、地面に対して鉛直状に設けられた対向する一对の直線管部2aと、これら直線管部2aを連結する連結管部2bを具備してなるもので、金属製のパイプなどによって構成される。なお、このループ管2aの材質については金属などに限らず、透明なガラス、若しくは樹脂などによって構成することもでき、透明なガラスや樹脂などの材料で構成した場合は、実験等における第一のスタック3aや第二のスタック3bの位置の確認や管内の状況を容易に観察することができる。

- [0034] このように設けられた直線管部2a及び連結管部2bの長さは、直線管部2aの長さを L_a 、連結管部2bの長さを L_b とした場合、
- [0035] $1:0.01 \leq L_a:L_b < 1:1$
の範囲に設定され、好ましくは可能な限り直線管部2aを長くすべく、
- [0036] $1:0.01 \leq L_a:L_b \leq 1:0.5$
の範囲に設定するのが好ましい。
- [0037] このように直線管部2aの長さを長く設定すれば、この第一のスタック3aから発生した音波の波面をできる限り早く安定させることができる。
- [0038] そして、このように構成されたループ管2の内部には、第一高温側熱交換器4と第一低温側熱交換器5とに挟まれた第一のスタック3a及び、第二高温側熱交換器6と第二低温側熱交換器7とに挟まれた第二のスタック3bが設けられる。
- [0039] この第一のスタック3aは、ループ管2の内壁に接するような円柱状に構成され、セラミクス、焼結金属、金網、金属製不織布などのように熱容量の大きい材質であって、ループ管2の軸方向に貫通する多孔を有して構成される。なお、この第一のスタック3aは、図2や図3に示すように、中心から順次外側へ向けて内径を大きくした導通路30を多数有するようなスタック3cや、中心から順次外側へ向けて内径を小さくした導通路30を有するスタック3dを用いるようにしても良い。また、図4や図5に示すように、例えば、微小の球状セラミクスなどを多数敷き詰めて蛇行する導通路30(太線で示される導通路30)を有するようなスタック3eや、ループ管2の内周面に近い側の導通路30の流路長を短くしたスタック3fなどを用いても良い。
- [0040] 第一高温側熱交換器4及び第一低温側熱交換器5は、共に薄い金属で構成され、その内側に定在波及び進行波を導通させるための貫通孔を設けて構成される。そして、これらの熱交換器のうち、第一高温側熱交換器4は外部から供給される電力、若しくは、廃熱や未利用エネルギーなどによって加熱されるように構成される、一方、第一低温側熱交換器5はその周囲に水を循環させて相対的に第一高温側熱交換器4よりも低い温度となるように設定される。
- [0041] そして、このように第一高温側熱交換器4及び第一低温側熱交換器5によって挟まれた第一のスタック3aは、第一高温側熱交換器4を上側に設けた状態で直線管部2

aの中央よりも下方側に設けられる。このように第一のスタック3aを直線管部2aの中央より下方に設けるようにするのは、第一高温側熱交換器4を加熱する際に生じる上昇気流を利用して迅速に音波を発生させるようにするためであり、また、第一高温側熱交換器4を加熱する際に発生する暖かい作動流体を第一のスタック3a内に入り込ませないようにするためである。そして、このように第一のスタック3a内に暖かい作動流体を入り込ませないようにすることによって、第一のスタック3a内で大きな温度勾配を形成させられるようにしている。

[0042] ここで第一のスタック3aで自励による音波が発生するための条件としては、この第一のスタック3a内に作動流体が流れる際の平行通路の流路半径を r 、作動流体の角周波数を ω 、温度拡散係数を α 、温度緩和時間を $\tau (=r^2/2\alpha)$ とした場合、 $\omega \tau$ が0.2～20の範囲内である場合に最も効率良く自励による音波を発生させることができる。このため、これらの関係を満たすように r 、 ω 、 τ を設定する。また、図1におけるループ管2の左上における直線管部2aの一端と連結管部2bの一端とを連結したときのそれぞれの中心軸の交点を回路の始点Xとし、回路全長を1.00とした場合、第一のスタック3aの中心を始点Xから反時計回りに回路全長の 0.28 ± 0.05 となる位置に設定すれば、より迅速かつ効率良く自励による音波を発生することができる。

[0043] 一方、第二のスタック3bは、第一のスタック3aと同様に、ループ管2の内壁に接するような円柱状に構成され、セラミクス、焼結金属、金網、金属製不織布などのように熱容量の大きい材質であって、ループ管2の軸方向に貫通する孔を多数有して構成される。この第二のスタック3bは、ループ管2に沿った作動流体の圧力変動が、第一のスタック3aの近傍に第一のピークが存在し、更に回路全長の約 $1/2$ 進んだ位置に第二のピークが存在する場合に、そのスタック3bの中心が第二のピークを過ぎた場所に位置するように設置される。この第二のスタック3bの構造については、第一のスタック3aと同様に、図2や図3に示すように、中心から順次外側へ向けて内径を大きくした導通路30を多数有するようなスタック3cや、中心から順次外側へ向けて内径を小さくした導通路30を有するスタック3dを用いるようにしても良い。また、図4や図5に示すように、例えば、微小の球状セラミクスなどを多数敷き詰めて蛇行する導通路30（太線で示される導通路30）を有するようなスタック3eや、ループ管2の内周面に近

い側の導通路30の流路長を短くしたスタック3fなどを用いても良い。

- [0044] また、この第二のスタック3b側に設けられる第二高温側熱交換器6及び第二低温側熱交換器7も、同様に、ともに薄い金属で構成され、その内側に定在波及び進行波を導通させるための貫通孔を設けて構成される。そして、第二高温側熱交換器6の周囲に水を循環させるようにするとともに、第二低温側熱交換器7に冷却の対象物に接続する。この冷却の対象物としては、外気や、発熱を伴う家電製品、パーソナルコンピュータのCPUなどが考えられるが、これ以外を対象物を冷却するようにしても良い。
- [0045] このように構成されたループ管2の内部には、プラントル数の小さい第一の作動流体としてのヘリウムと、この第一の作動流体よりもプラントル数の大きい第二の作動流体としてのアルゴンが封入される。
- [0046] これらの作動流体を封入する場合、音速が速く、プラントル数が小さく、比重も小さいヘリウムを使用すれば、音波の発生までの時間を短縮化することができるが、音速が速くなってしまつて、スタック内壁との間でうまく熱交換を行うことができない。また、逆に音速が遅く、プラントル数が大きく、比重も小さいアルゴンなどを使用すると、粘性が高くなって音波を迅速に発生させることができない。このため、本実施の形態では、迅速に音波を発生させるために、最初にヘリウムをループ管2の内部に封入しておき、その後、定在波及び進行波が発生した後にアルゴンを注入するようにしている。そして、このような第二の作動流体を注入する場合としては、次のようにして行う。
- [0047] まず、図1に示すように、ループ管2の上側にヘリウムを充填したヘリウム気体注入装置9aとアルゴンを充填したアルゴン気体注入装置9bを設け、これらの気体注入装置9a、9bを共通の注入口9dに接続しておく。この注入口9dは上側の連結管部2bの中央部分に設けられ、ヘリウム気体注入装置9aのバルブ9cとアルゴン気体注入装置9bのバルブ9cを開放することによって共通の注入口9dからそれぞれの作動流体をループ管2内に注入できるようにする。このようにした状態で、まず、ヘリウム気体注入装置9aのバルブ9cを開放しループ管2内にヘリウムを封入する。そして、このようにヘリウムを封入した状態で第一低温側熱交換器5及び第二高温側熱交換器6の周囲に水を循環させるとともに、第一高温側熱交換器4側を加熱する。すると、第一高

温側熱交換器4と第一低温側熱交換器5との間の温度差によって第一のスタック3a内に温度勾配が発生し、作動流体が微小に揺らぎ始め、次に、この作動流体が大きく振動し始めてループ管2内を周回する。この際、ループ管2内に音速が速く、プラントル数が小さく、比重も小さいヘリウムガスを封入しているため、定在波及び進行波を迅速に発生させることができる。そして、この定在波及び進行波を発生させた後、アルゴン気体注入装置9bのバルブ9cを開放し、音速が遅く、プラントル数が大きく、比重も大きいアルゴンをループ管2の上側から注入していく。すると相対的に比重の大きいアルゴンはループ管2内の下方に向かって移動し、その際、比重の小さいヘリウムと均一に混ざり合わされる。そして、このように混合された状態で第一のスタック3aから発生した音エネルギーは、エネルギー保存の法則に基づき、第一のスタック3a内での熱エネルギーの移送方向(第一高温側熱交換器4から第一低温側熱交換器5の方向)と逆方向、すなわち、第一低温側熱交換器5から第一高温側熱交換器4の方向に移送され、ループ管2を介して第二のスタック3b側へ移送される。そして、第二のスタック3b側では、定在波及び進行波に基づく作動流体の圧力変化及び体積変化によって作動流体を膨張・収縮させ、その際に生じた熱エネルギーを音エネルギーの移送方向と逆方向である第二低温側熱交換器7から第二高温側熱交換器6側へ移送させる。このようにして、第二低温側熱交換器7を冷却し、目的の対象物を冷却するようにする。

[0048] なお、このようにアルゴンを注入する場合の方法としては、次のような方法を用いることができる。

[0049] まず、ループ管2の外周部分若しくは内部に、図6に示すような音の発生を検知する音検知手段8aを設け、この音検知手段8aからの出力信号によってアルゴン気体注入装置9bのバルブ9cを開放するようにする。この音検知手段8aとしては、特定周波数の音波を検知する方法や、ループ管2の振動を検知する方法などが考えられるが、これ以外に、種々の方法を用いるようにしても良い。

[0050] また、アルゴン気体注入装置9bからの注入を停止する場合は、次のようにして行う。

[0051] まず、ループ管2内の圧力を計測する圧力計などの圧力計測手段90を設け、この

圧力計測手段90が一定の圧力値を計測した場合にアルゴン気体注入装置9bのバルブ9cを閉じるようにする。この圧力としては、例えば、0.01MPa〜5MPaの範囲内で設定され、ループ管2が比較的小さく構成されている場合は粘性の影響を少なくすべく小さな圧力値に設定される。

[0052] また、このように圧力計測手段90によってアルゴン気体注入装置9bのバルブ9cを制御するだけでなく、第二低温側熱交換器7から出力される熱の変化に基づいてバルブ9cの開閉制御する熱変化制御手段91を設けるようにしても良い。この熱変化制御手段91を用いる場合、例えば、第二低温側熱交換器7から出力される熱の時間的変化が一定値以下になった場合にアルゴン気体注入装置9bのバルブ9cを閉じて注入を停止するように制御する。このように構成すれば、無駄にアルゴンを注入してしまうことがなくなり、ガスを節約することができるようになる。なお、このように熱の時間的変化に基づいてバルブ9cの開閉制御をする場合、上述のような圧力によるバルブ9cの開閉制御と併用するようにしても良い。このように構成すれば、無制限に加圧してしまうことがなくなり、装置1の破損などを防止することができるようになる。

[0053] 更に、このような装置1を用いる場合、使用の都度ガス抜き作業をして新たな混合ができるように、ループ管2に閉止可能な開口部2cを設ける。この開口部2cはループ管2の下端部分に設けるのが好ましく、装置1の使用終了後この開口部2cを開放することによって相対的に比重の大きい作動流体を空気中に放出する。このように構成すれば、使用の終了後一定時間を経過すると相対的に比重の大きいアルゴンがループ管2の下方に沈殿し、空気よりも重いアルゴンのみが開口部2cから空気中に放出されることになる。また、次の使用時に再びヘリウムを上側から充填する場合、ループ管2内に入り込んだ空気を押し出して下方の開口部2cから放出することができ、ループ管2内のヘリウムの密度を高くすることができるようになる。

[0054] このように上記実施の形態によれば、ループ管2の内部に一の作動流体を封入した状態で自励による定在波及び進行波を発生させ、その後、この作動流体と異なる作動流体を注入する気体注入装置9bを設けるようにしたので、音波の発生とエネルギー変換の効率性を考慮した最もバランスのとれた状態に設定することができるようになる。

- [0055] そして、この実施の形態においては、音速が速く、プラントル数が小さく、比重も小さいヘリウムを先に封入しておき、その後、音速が遅く、プラントル数が大きく、比重も大きいアルゴンを注入するようにしたので、このようなヘリウムによって音波を迅速に発生させるとともに、音波発生後、アルゴンによって熱交換の効率に最も適した状態にすることができる。
- [0056] また、ループ管2として、地面に対して鉛直状に設けられた複数の直線管部2aと、この直線管部2aを連結する連結管部2bを具備してなるものを用い、このループ管2の中央よりも上側にアルゴン気体注入装置9bを設けるようにしたので、ヘリウムよりも重いアルゴンを上側から注入することによって均一に作動流体を混合することができるようになる。
- [0057] そして、ループ管2を左右対称形状に構成し、そのループ管2の上側中央部分にその気体注入装置9bの注入口9dを設けるようにしたので、注入口9dから注入されたアルゴンを左右に分離してループ管内に均一に作動流体を注入することができるようになり、これにより、音波発生の変動や熱交換の変動をなくすことができるようになる。
- [0058] 更に、音の発生を検知する音検知手段8aを設け、この音検知手段8aによってループ管内に発生した音が検知された場合に、プラントル数の大きい作動流体を注入するようにしたので、音波の発生時間の短縮化を図ると同時に熱交換の効率を向上させることができるようになる。
- [0059] 加えて、圧力計測手段90を設け、ループ管2内の圧力が一定値になった場合に作動流体の注入を停止するようにしたので、常にループ管内の圧力を一定に保つことができ、使用の都度、圧力が異なることによって熱交換の効率が変わってしまうといった不具合を防止することができるようになる。
- [0060] また、作動流体の注入を停止する場合の別の態様として、第二高温側熱交換器6から出力される熱の時間的変化に基づいて作動流体の注入を停止するようにしたので、無駄に作動流体を注入し続けてしまうといった無駄を防止することができるようになる。
- [0061] 更に、空気よりも軽いヘリウムに対して空気よりも重いアルゴンを注入する場合、ループ管2の下端部分にアルゴンを抜くための開口部2cを設けるようにしたので、その

開口部2cを開放することによってアルゴンのみを空気中に放出することができ、全ての作動流体を入れ替える必要がなくなる。

[0062] なお、本発明は上記実施の形態に限定されることなく、種々の態様で実施することができる。

[0063] 例えば、上述のような熱音響装置1では、第一のスタック3a内に設けられた温度勾配によって自励による音波を発生させるようにしているが、この自励による音波の発生を促進するために、ループ管2の外周部若しくは内部に音波発生装置8bを設けるようにしても良い。この音波発生装置8bとしては、スピーカーや圧電素子、その他、外部から作動流体を強制振動させるような装置で構成され、好ましくは、発生する定在波及び進行波の $1/2$ 波長、 $1/4$ 波長の間隔を設けて取り付けられる。また、定在波及び進行波の進行方向に対応してループ管2の軸方向に作動流体を強制振動させるように設けるのが好ましい。このように音波発生装置8bを設けると、定在波及び進行波の発生時間を短縮することができ、迅速に第二低温側熱交換器7を冷却することができるようになる。

[0064] また、このような熱音響装置1だけでは十分な冷却効果を得ることができない場合、図7に示すように、熱音響装置1を複数連結させた熱音響システム100を用いるようにするにても良い。図7において、1a、1b…1nは上述のように構成された熱音響装置1を示す。これらの第一の熱音響装置1a、第二の熱音響装置1b…第nの熱音響装置1nは隣接して直列に設けられ、また、気体注入装置9a、9bは全て若しくは複数の熱音響装置1a、1b…1nに対して共通に設けられる。これらの熱音響装置1a…における第一高温側熱交換器4は、全てヒーターなどで加熱され、一方、それぞれにおける熱音響装置1a…の第二低温側熱交換器7は、これに隣接する熱音響装置1b…の第一低温側熱交換器5に連結される。これによって、第一の熱音響装置1aにおける第一のスタック3aの温度勾配よりも第二の熱音響装置1における温度勾配の方を大きくすることができ、順次下流側に向けて熱音響装置1nの温度勾配が大きくなることができ、末端の熱音響装置1nからより低い熱を出力することができるようになる。なお、このように熱音響装置1a…を連結する場合、各熱音響装置1a…で音波を自励させようとすると、末端の熱音響装置1nで定在波及び進行波が発生するまで

の間に非常に長い時間を要することになる。このため、特にループ管2の外周面若しくは内部に音波発生装置8bを設けて各熱音響装置1a…での定在波及び進行波の発生までの時間を短縮化するように構成すると良い。また、このようなシステム100において各ループ管2で音波を発生させる場合、共通に設けられた気体注入装置9bのバルブ9cを制御し、各ループ管2で音波が発生するごとにそのループ管2に対応したバルブ9cを開放して作動流体を注入すると良く、また、注入を停止する場合についても同様に、各ループ管2に設けられた圧力計測手段90や熱変化制御手段91によって注入の停止を行うようにしても良い。

[0065] また、上記実施の形態では、第一のスタック3a側を加熱して第二のスタック3b側を冷却する熱音響装置1を例に挙げて説明したが、これとは逆に、第一のスタック3a側を冷却して第二のスタック3b側を加熱するようにしても良い。この熱音響装置1の例を図8に示す。

[0066] 図8において、図1から図6までと同じ符号を示すものは上記説明したものと同一構造を有するものを示す。この図8においては、第一のスタック3aを直線管部2aの中央よりも上方に設けるとともに、第二のスタック3bをこれに対向する直線管部2aの適所に設けるようにしている。この第一のスタック3a及び第二のスタック3bの設置位置としては、上記実施の形態における設置条件と同じ条件となる位置に設けると良い。そして、第一低温側熱交換器5にマイナス数十度若しくはこれよりも低い冷熱を入力するとともに、第一高温側熱交換器4および第二低温側熱交換器7に不凍性の液体を循環させる。すると熱音響効果の原理により、第一のスタック3aに形成された温度勾配によって自励の音波が発生し、比較的長く設定された直線管部2aで波面を安定させ、また、冷熱の下降気流を利用して迅速に定在波及び進行波を発生させる。この定在波及び進行波の音エネルギーの進行方向は、第一のスタック3aにおける熱エネルギーの移送方向(第一高温側熱交換器4から第一低温側熱交換器5の方向)と逆方向に向かうように発生する。この定在波及び進行波による音エネルギーは、第二のスタック3b側へ伝搬され、第二のスタック3b側では、定在波及び進行波に基づく作動流体の圧力変化及び体積変化によって作動流体が膨張・収縮を繰り返し、その際に生じた熱エネルギーを音エネルギーの移送方向と逆方向である第二低温側熱交換

器7から第二高温側熱交換器6側へ移送する。このようにして、第二高温側熱交換器6を加熱する。

- [0067] なお、この実施の形態においても、定在波及び進行波の発生を促進するためにループ管2の外周面若しくは内部に音波発生装置8bを設けるようにしても良く、また、このような熱音響装置1を図7に示すように連結して末端側の熱音響装置1からより高い熱を出力するようにしても良い。

図面の簡単な説明

- [0068] [図1]本発明の一実施の形態を示す熱音響装置の概略図
[図2]他の実施の形態におけるスタックの形状を示す図
[図3]他の実施の形態におけるスタックの形状を示す図
[図4]他の実施の形態におけるスタックの形状を示す図
[図5]他の実施の形態におけるスタックの形状を示す図
[図6]音検知手段、圧力計測手段、熱変化制御手段を設けた熱音響装置の概略図
[図7]音響暖房装置を連結させた音響暖房システムの概略図
[図8]他の実施の形態における熱音響装置の概略図

符号の説明

- [0069] 1・・・熱音響装置
2・・・ループ管
2a・・・直線管部
2b・・・連結管部
2c・・・開口部
3a・・・第一のスタック
3b・・・第二のスタック
3c・・・スタック
3d・・・スタック
3e・・・スタック
3f・・・スタック
30・・・導通路

- 4・・・第一高温側熱交換器
- 5・・・第一低温側熱交換器
- 6・・・第二高温側熱交換器
- 7・・・第二低温側熱交換器
- 8a・・・音検知手段
- 8b・・・音波発生装置
- 9a・・・ヘリウム気体注入装置
- 9b・・・アルゴン気体注入装置
- 9c・・・バルブ
- 9d・・・注入口
- 90・・・圧力計測手段
- 91・・・熱変化制御手段
- 100・・・熱音響システム

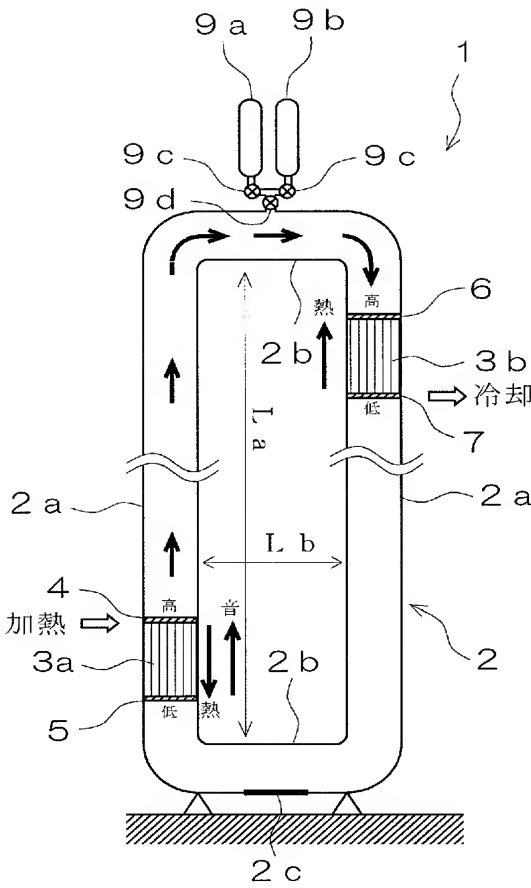
請求の範囲

- [1] ループ管の内部に、第一高温側熱交換器と第一低温側熱交換器に挟まれた第一のスタックと、第二高温側熱交換器と第二低温側熱交換器に挟まれた第二のスタックとを具備してなり、前記第一高温側熱交換器を加熱することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二低温側熱交換器を冷却し、又は／及び、前記第一低温側熱交換器を冷却することによって定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二高温側熱交換器を加熱する熱音響装置であって、
- ループ管の内部に第一の作動流体を封入した後、当該第一の作動流体と異なる作動流体を注入して混合する混合手段を設けたことを特徴とする熱音響装置。
- [2] 前記混合手段が、先にループ管に封入された音速の速い作動流体に対して、後から音速の遅い作動流体を注入する手段である請求項1に記載の熱音響装置。
- [3] 前記混合手段が、先にループ管に封入された比重の小さい作動流体に対して、後から比重の大きい作動流体を注入する手段である請求項1に記載の熱音響装置。
- [4] 前記混合手段が、先にループ管に封入されたプラントル数の小さな作動流体に対して、後からプラントル数の大きい作動流体を注入する手段である請求項1に記載の熱音響装置。
- [5] 前記ループ管が、地面に対して起立する複数の直線管部と、これら複数の直線管部を連結する連結管部とを具備してなるものであり、前記混合手段が、当該ループ管の中央よりも上側に設けられたものである請求項1に記載の熱音響装置。
- [6] 前記ループ管が、地面に対して起立する複数の直線管部と、これら複数の直線管部を連結する連結管部とを具備して左右対称形状に構成されるものであり、前記混合手段が、上側の連結管部の中央に設けられたものである請求項1に記載の熱音響装置。
- [7] 更に、前記音の発生を検知する音検知手段を設け、この音検知手段によって定在波及び進行波の発生が検知された場合、若しくは、音波状態の変動が検知された場合に、前記作動流体の注入を開始する請求項1に記載の熱音響装置。
- [8] 更に、前記ループ管内の圧力を計測する圧力計測手段を設け、この圧力計測手段

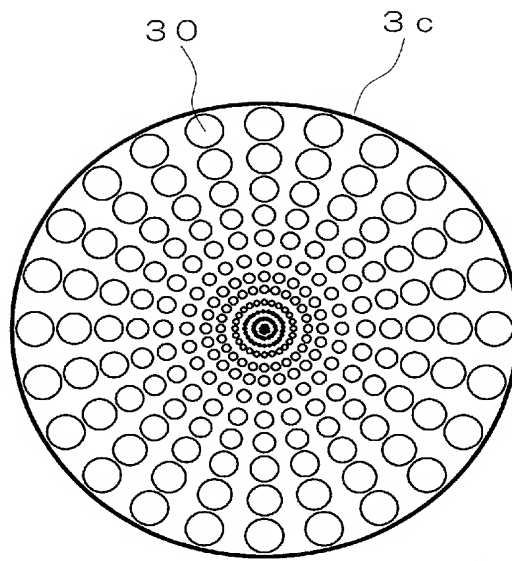
によって一定の圧力が計測された場合に作動流体の注入を停止する請求項1に記載の熱音響装置。

- [9] 前記混合手段が、前記第二高温側熱交換器若しくは第二低温側熱交換器から出力される熱の時間的变化に基づいて作動流体の注入を停止するものである請求項1に記載の熱音響装置。
- [10] 前記混合された作動流体が、空気よりも軽い作動流体と空気よりも重い作動流体とからなるものであり、ループ管の下端に前記空気よりも重い作動流体を抜くための開口部を設けた請求項1に記載の熱音響装置。

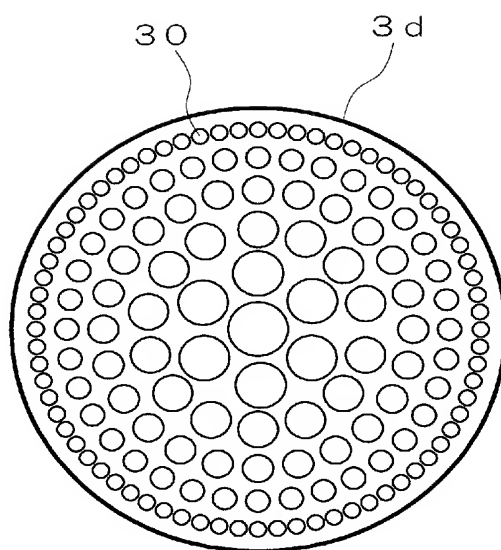
[図1]



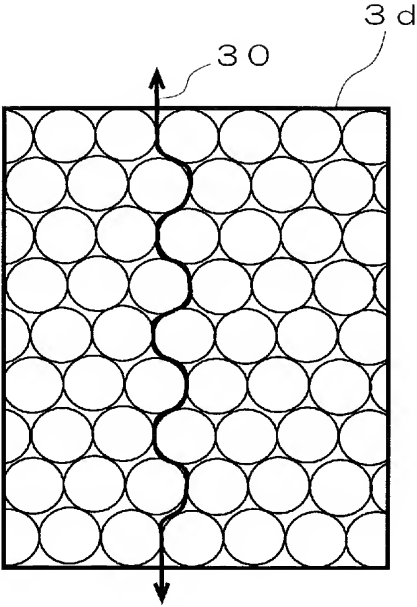
[図2]



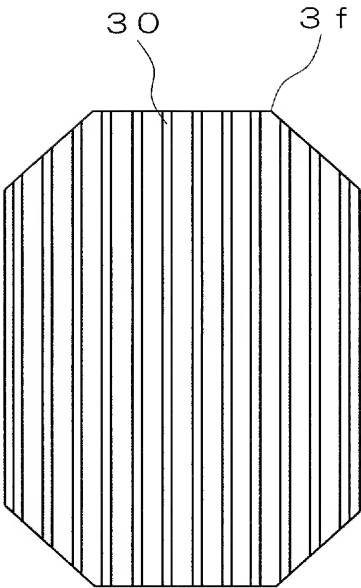
[図3]



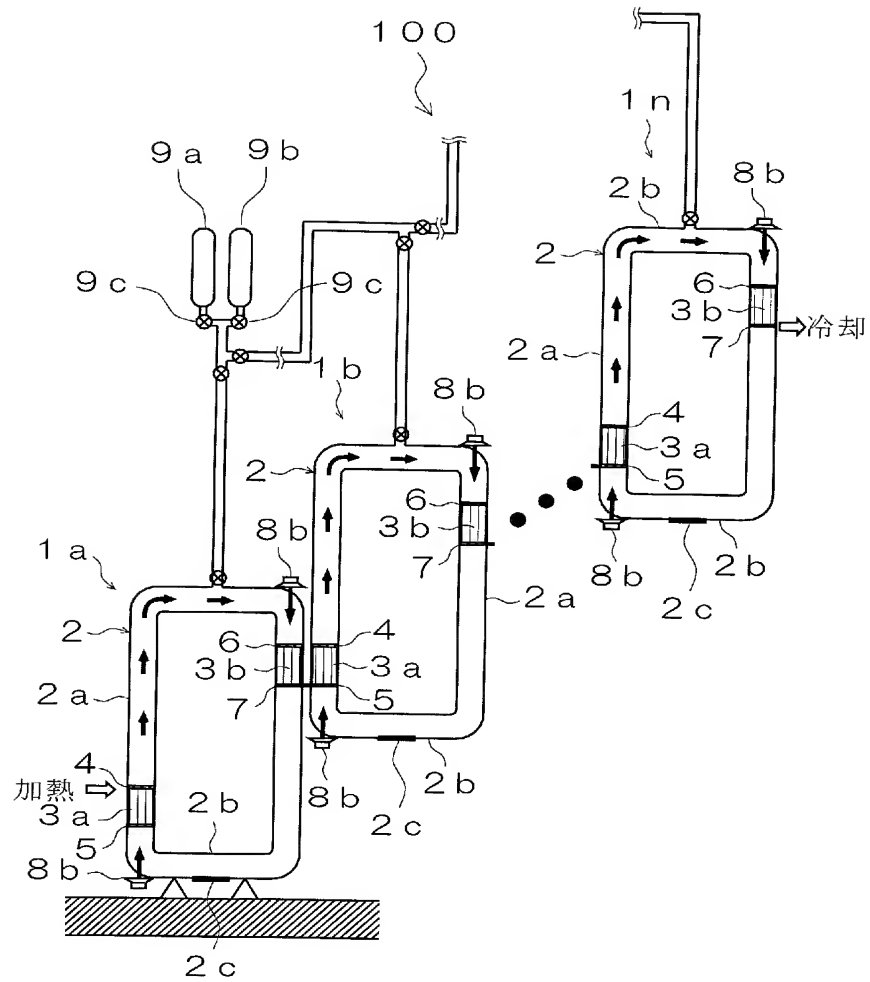
[図4]



[図5]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/005221

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁷ F25B9/00, F25B9/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ F25B9/00, F25B9/14, F02G1/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-535597 A (The Regents of the University of California), 22 October, 2002 (22.10.02), Page 43, lines 4 to 19; Fig. 13C & US 6032464 A & WO 2000/043639 A1	1-10
A	JP 2002-031423 A (Iwatani & Co., Ltd.), 31 January, 2002 (31.01.02), Column 2, lines 36 to 39 (Family: none)	1-10
A	JP 2000-088378 A (Kabushiki Kaisha Idotai Tsushin Sentan Gijutsu Kenkyusho), 31 March, 2000 (31.03.00), Column 5, lines 14 to 22 (Family: none)	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
20 June, 2005 (20.06.05)

Date of mailing of the international search report
05 July, 2005 (05.07.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ F25B9/00 F25B9/14

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ F25B9/00 F25B9/14 F02G1/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2002-535597 A (ザ リージェンツ オブ ザ ユニバーシティ オブ カリフォルニア) 2002. 10. 22, 第43頁第4-19行, 図13C & US 6032464 A & WO 2000/043639 A1	1-10
A	JP 2002-031423 A (岩谷産業株式会社) 2002. 01. 31, 第2欄第36-39行 (ファミリーなし)	1-10

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

20. 06. 2005

国際調査報告の発送日

05. 7. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

清水 富夫

3M

7616

電話番号 03-3581-1101 内線 3377

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2000-088378 A (株式会社移動体通信先端技術 研究所) 2000. 03. 31, 第5欄第14-22行, (ファミリ ーなし)	1-10